

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

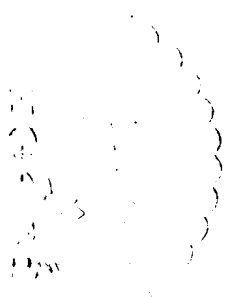
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    3 月 2 8 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 0 9 2 8 7 3  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 3 - 0 9 2 8 7 3 ]

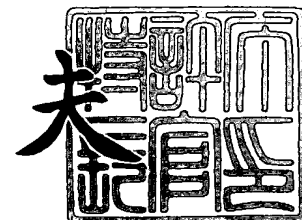
出      願      人                      富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):



2 0 0 4 年    1 月    7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 9 0 8 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251988

【提出日】 平成15年 3月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35  
H01S 3/30  
H04B 10/16  
H04B 10/17

【発明の名称】 ラマン増幅器を用いた光伝送システム

【請求項の数】 5

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内  
【氏名】 菅谷 靖

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内  
【氏名】 林 悦子

【特許出願人】  
【識別番号】 000005223  
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100074099  
【住所又は居所】 東京都千代田区二番町 8 番地 2 0 二番町ビル 3 F  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 大菅 義之  
【電話番号】 03-3238-0031

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾 7-25-28-503

【弁理士】

【氏名又は名称】 久木元 彰

【電話番号】 045-573-3683

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン増幅器を用いた光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマン増幅器を利用して送信局から受信局へWDM光を伝送する光伝送システムであって、

上記ラマン増幅器は、

光増幅媒体と、

互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源と、

上記複数の励起光を上記光増幅媒体に導く光デバイスと、

上記励起光源を制御する制御手段を備え、

上記送信局は、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長を持った複数の参照光を送出し、

上記制御手段は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する

ことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光伝送システムであって、

上記送信局は、上記複数の参照光の中の少なくとも一部を利用して上記受信局へ情報を送信する。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光伝送システムであって、

上記WDM光に含まれている上記複数の参照光の光パワーを検出する検出手段をさらに有し、

上記制御手段は、上記検出手段により検出される複数の参照光の光パワーが等化されるように上記複数の励起光の光パワーを制御する。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の光伝送システムであって、

上記制御手段は、上記複数の参照光の各光パワーの平均値に基づいて上記複数の励起光を制御する。

【請求項 5】 ラマン増幅を利用して送信局から中継局を介して受信局へWDM光を伝送する光伝送システムであって、

上記中継局は、

互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源と、

上記複数の励起光を光増幅媒体に導く光デバイスと、

上記励起光源を制御する制御手段、を備え、

上記送信局は、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長を持った複数の参照光を生成する参照光生成手段を有し、

上記中継局は、さらに、

上記WDM光を増幅する集中型光増幅器と、

上記複数の参照光の中で上記集中型光増幅器の利得帯域の外に位置する参照光と同じ波長の補助光を上記WDM光に合波する補助光供給手段、を備え

上記制御手段は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する

ことを特徴とする光伝送システム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、ラマン増幅器を用いてWDM光を増幅しながら中継する光伝送システムに係わる。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

近年、幹線系の光伝送システムにおいては、大容量化または高速化を図るために、波長多重（WDM：Wavelength Division Multiplex）技術が導入されている。そして、WDM伝送技術のコア技術として、ラマン光増幅技術が実用化されている。

##### 【0003】

図13は、一般的なラマン増幅器を用いた光伝送システムの構成図である。ここで、このシステムでは、送信局（Tx）101と受信局（Rx）102との間に複数の中継局が設けられており、これらの中継局を介してWDM光が伝送される。そして、各中継局においてラマン増幅が行われる。また、各中継局は、エル

ビウム添加ファイバ光増幅器などの集中型の光増幅器を備えている。

#### 【0004】

伝送路ファイバ1は、WDM光を伝搬させる光伝送媒体であるが、励起光が与えられることにより光増幅媒体としても作用する。励起光源(LD)2は、例えばレーザダイオード、あるいは複数のレーザダイオードの出射光を合波器などで合波したものであり、WDM光を増幅するための励起光を生成する。ここで、励起光源2により生成される励起光は、互いに波長の異なる複数の光を含むものとする。WDMカプラ3は、励起光源2により生成された励起光を伝送路光ファイバ1に導く

上記光伝送システムにおいて、送信局101から送出されたWDM光は、伝送路ファイバ1により増幅されながら受信局102まで伝送される。このとき、各中継局において、WDM光全体の出力パワーが管理されると共に、WDM光に含まれている複数の信号光の光パワーのバランスが管理されている。すなわち、例えば、各中継局において、WDM光全体の出力パワーが予め決められた所定の値に保持されるように、且つ、WDM光に含まれている複数の信号光の光パワーが等化されるように、励起光源2が制御される(例えば、特許文献1～3参照。)

。

#### 【0005】

##### 【特許文献1】

特開2002-72262号公報(図3、3～5ページ)

##### 【特許文献2】

特開2000-98433号公報(図1、段落0070～0072)

##### 【特許文献3】

特開2002-76482号公報(図10、段落0162～0177)

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ところが、上述のような既存の光伝送システムでは、下記の問題点がある。

1. WDM光に含まれている複数の信号光の出力パワーのバランス(光パワーチルト)を正確にモニタすることが困難である。たとえば、上述の特許文献1で

は、信号光帯域を複数のブロックに分割し、各ブロック毎に検出した光パワーを利用して光パワーチルトの制御が行われている。しかし、この場合、各ブロックに信号光が均等に配置されていないときは、光パワーチルトを正確に検出することはできず、WDM光を等化することができなくなる。なお、この問題は、上述の特許文献 1 に記載のシステムにおいてのみ発生するものではなく、WDM光に含まれている複数の信号光の光パワーを個々に検出する場合であっても、信号光が信号光帯域の中の特定の波長領域に偏って配置されている場合には、同様に発生する。

#### 【 0 0 0 7 】

2. フォトダイオード等を用いてWDM光全体の出力パワーを検出する場合、そのフォトダイオードは広い帯域に渡って光を受信することになるので、WDM光に含まれる信号光の数が少ないときは、A S E (Amplified Spontaneous Emission) 等に起因する雑音光が支配的になる（すなわち、全光パワーに対する雑音光パワーの比率が相対的に高くなる）。このため、主信号光（すなわち、信号を送るべきWDM光）の光パワーを正確に検出できないことになる。

#### 【 0 0 0 8 】

本発明は、ラマン増幅器を用いた光伝送システムにおいて、WDM光の光パワーバランスおよびWDM光全体の光パワーを正確に管理できるようにすることを目的とする。

#### 【 0 0 0 9 】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の光伝送システムは、ラマン増幅器を利用して送信局から受信局へWDM光を送るシステムである。上記ラマン増幅器は、光増幅媒体、互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源、上記複数の励起光を上記光増幅媒体に導く光デバイス、上記励起光源を制御する制御手段を備える。上記送信局は、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長を持った複数の参照光を送出する。そして、上記制御手段は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する。

#### 【 0 0 1 0 】

上記光伝送システムにおいては、参照光に基づいて励起光が制御されるので、WDM光に含まれる信号光の数や配置によらず、常に、励起光の光パワーを適切に制御でき、ラマン利得のチルトや出力パワーの管理が容易になる。

#### 【0 0 1 1】

なお、上記光伝送システムにおいて、上記送信局は、上記複数の参照光の中の少なくとも一部を利用して上記受信局へ情報を送信するようにしてもよい。この場合、参照光を利用して情報が伝送されるので、通信資源（特に、波長または帯域）が有効に利用されることになる。

#### 【0 0 1 2】

また、上記光伝送システムにおいて、上記WDM光に含まれている複数の参照光の光パワーを検出する検出手段をさらに設け、上記制御手段は、上記検出手段により検出される複数の参照光の光パワーが等化されるように上記複数の励起光の光パワーを制御するようにしてもよい。ここで、この検出手段は、例えば、上記複数の参照光を選択的に反射する反射手段、及びその反射手段により反射された参照光を電気信号に変換する受光手段から構成されるようにしてもよい。

#### 【0 0 1 3】

さらに、上記光伝送システムにおいて、上記制御手段は、上記複数の参照光の各光パワーの平均値に基づいて上記複数の励起光を制御するようにしてもよい。この場合、雑音光の影響が抑えられるので、WDM光の光パワーを精度よくモニタできる。

#### 【0 0 1 4】

さらに、上記光伝送システムが上記WDM光を増幅する集中型光増幅器を備える構成であって、複数の参照光の一部の参照光がその集中型光増幅器の利得帯域の外に位置する場合には、その集中型光増幅器の利得帯域の外に位置する参照光と同じ波長の補助光を上記WDM光に合波するようにしてもよい。この構成において、上記集中型光増幅器により増幅されない参照光の光パワーは、その集中型光増幅器により増幅される参照光の光パワーよりも弱くなるので、補助光を供給することにより、集中型光増幅器の利得帯域の外に位置する参照光の光パワーが補償される。



## 【0015】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

図1は、本発明の実施形態の光伝送システムの構成図である。ここで、このシステムでは、送信局10と受信局20との間に複数の中継局30が設けられており、これらの中継局30を介してWDM光が伝送される。また、各中継局30においてラマン増幅が行われる。

## 【0016】

送信局10は、信号光および参照光を含むWDM光を生成して送出する。ここで、この信号光は、互いに波長の異なる複数の信号光 $f_{s1} \sim f_{sn}$ から構成されている。また、この参照光は、互いに波長の異なる複数の参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ から構成されている。なお、参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ の波長または周波数は、それぞれ、後述する励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ の波長または周波数に基づいて決められる。

## 【0017】

送信局10と第1段目の中継局30との間、中継局30どうしの間、および最終段の中継局30と受信局20との間は、それぞれ、伝送路ファイバ1により接続されている。ここで、各伝送路ファイバ1は、WDM光を伝搬させる光伝送媒体であるが、励起光が与えられることにより光増幅媒体としても作用する。

## 【0018】

各中継局30は、励起光源(LD)2、WDMカップラ3、分岐カップラ31、光スペクトラムアナライザ32、制御回路33を備える。ここで、励起光源2は、複数のレーザダイオードを含み、互いに波長の異なる複数の励起光を生成する。ここでは、3つの励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ が生成されるものとする。そして、WDMカップラ3は、その励起光源2により生成された励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ を伝送路光ファイバ1に導く。これにより、伝送路光ファイバ1は、励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ が供給され、ラマン増幅のための光増幅媒体として作用する。即ち、伝送路光ファイバ1、励起光源2、およびWDMカップラ3は、WDM光を増幅するラマン増幅器として作用する。

## 【0019】

分岐カプラ 31 は、伝送路光ファイバ 1 において増幅された WDM 光の一部を分岐して光スペクトラムアナライザ 32 に導く。光スペクトラムアナライザ 32 は、その WDM 光に含まれている各波長の光パワーをモニタする。そして、WDM 光に含まれている参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワーを検出する。

#### 【0020】

制御回路 33 は、光スペクトラムアナライザ 32 により検出された参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワーに基づいて励起光源 2 を駆動する。すなわち、制御回路 33 は、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワーに基づいて、励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  の光パワーを調整する。具体的には、例えば、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の平均光パワーが所定値に保持され、且つ、各参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワーが等化されるように、各励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  の光パワーが調整される。

#### 【0021】

図 2 は、参照光の配置方法について説明する図である。参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の周波数（または、波長）は、それぞれ、対応する励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  の周波数（または、波長）に基づいて決められる。例えば、参照光  $f_{r1}$  には、励起光  $f_{p1}$  からラマンシフト周波数だけシフトした周波数が割り当てられる。ここで、「ラマンシフト周波数」とは、一義的ではないが、「与えられた励起光の周波数と、その励起光に起因して得られるラマン利得がピークとなる周波数との差分」を意味するものとする。そして、このラマンシフト周波数は、伝送路光ファイバ 1 として石英系の光ファイバが使用されている場合には、約 13.2 THz である。また、このラマンシフト周波数を波長に換算すると、1.3～1.55  $\mu\text{m}$  帯においては約 100 nm に相当する。すなわち、参照光  $f_{r1}$  は、励起光  $f_{p1}$  に起因するラマン利得がピークとなる波長に配置される。換言すれば、参照光  $f_{r1}$  には、励起光  $f_{p1}$  の周波数よりも約 13.2 THz だけ低い周波数が割り当てられる。さらに別言すれば、参照光  $f_{r1}$  には、励起光  $f_{p1}$  の波長よりも約 100 nm だけ長い波長が割り当てられる。

#### 【0022】

同様に、参照光  $f_{r2}$  は、励起光  $f_{p2}$  に起因するラマン利得がピークとなる波長に配置される。また、参照光  $f_{r3}$  は、励起光  $f_{p3}$  に起因するラマン利得がピーク

となる波長に配置される。

#### 【0023】

このように、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  は、対応する励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  に起因するラマン利得がピークとなる波長に配置される。ただし、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  は、必ずしも対応する励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  に起因するラマン利得がピークとなる波長に正確に配置される必要はなく、対応する励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  に起因するラマン利得がピークとなる波長に近接する波長に配置されるようにしてもよい。

#### 【0024】

また、信号光  $f_{s1} \sim f_{sn}$  が予め決められた周波数グリッド上に配置されて伝送される場合には、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  もその周波数グリッド上に配置されて伝送される。このとき、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  は、それぞれ、励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  に起因するラマン利得がピークとなる周波数に最も近接する周波数グリッド上に配置される。なお、このような周波数グリッドは、例えば、ITU-Tにおいて規定されている。そして、ITU-Tの規定では、基準周波数（アンカー周波数）、および周波数間隔（50GHz、100GHz）の推奨値が示されている。

#### 【0025】

図3は、送信局10の構成図である。なお、ここでは、WDM光を生成するために必要な機能のみが描かれている。

送信局10は、信号光  $f_{s1} \sim f_{sn}$  を生成するための光源(LD) 11-1～11-n、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  を生成するための光源(LD) 12-1～12-3、信号光  $f_{s1} \sim f_{sn}$  および参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  を合波してWDM光を生成するマルチプレクサ13を備える。ここで、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の周波数（または、波長）は、上述のようにして決められている。

#### 【0026】

光源 11-1～11-nは、受信局20へデータ（または、情報）を送信するときに駆動される。例えば、光源 11-1は、データ源14-1により生成されるデータを受信局20へ送信するときに駆動される。一方、光源 12-1～12-3は、基本的に、常に、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  を生成して出力する。ここで、光源 12-1～12-3は、連続（CW: Continuous Wave）光を出力するようにし

てもよいし、所定のパターンの信号を送信するようにしてもよい。

#### 【0027】

なお、信号光  $f_{s1} \sim f_{sn}$  がデータ（または、情報）を伝送するために使用されるのに対し、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  は、本来的には、各中継局 30 においてラマン増幅動作を制御するために使用される。しかし、実施形態の光伝送システムにおいては、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  を利用してデータ（または、情報）を伝送するようにしてもよい。ただし、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  は、各中継局 30 においてラマン増幅動作を制御するために使用されるので、基本的に、停止することは許されない。このため、参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  を利用してデータ（または、情報）を伝送することを許容するシステムにおいては、例えば、図 4 に示すように、セレクトア 15 を用いて「送信すべきデータ」または「固定パターンデータ」が選択される機能を備えている。なお、図 4 では、LD で直接変調する場合を示しているが、光変調器による外部変調による場合においても上述のようにデータの有無さらには変調の有無を含めて選択できるようにすることを想定する。そして、この場合、光源 12（12-1～12-3）は、送信すべきデータが与えられたときはそのデータを送信し、送信すべきデータが与えられないときは固定パターンデータ（あるいは、無変調）を送信する。

#### 【0028】

図 5 は、各中継局 30 が備える制御回路の構成図である。制御回路 33 は、A/D 変換器 41、DSP 42、D/A 変換器 43、増幅器 44-1～44-3、パワートランジスタ 45-1～45-3 を備える。A/D 変換器 41 は、光スペクトラムアナライザ 32 により検出された参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワー値をデジタルデータに変換して DSP 42 に渡す。なお、光スペクトラムアナライザ 32 がデジタル出力インタフェースを備えている場合は、A/D 変換器 41 は不要であり、光スペクトラムアナライザ 32 により検出された参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワー値はそのまま DSP 42 に渡される。

#### 【0029】

DSP 42 は、予め決められているアルゴリズムに従って、励起光源 2 を制御するために必要な指令値を算出する。ここで、DSP 42 により実行されるアル

ゴリズムは、3つの励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  および 3つの参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  を用いて制御ループを形成するものとする、例えば、下式に従う。

【0030】

【数1】

$$\begin{pmatrix} \Delta P_{p1} \\ \Delta P_{p2} \\ \Delta P_{p3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{r1} - P_{sref} \\ P_{r2} - P_{sref} \\ P_{r3} - P_{sref} \end{pmatrix}$$

【0031】

この関係式において、「 $P_{r1}$ 」～「 $P_{r3}$ 」は、光スペクトラムアナライザ 32 により検出された参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワー値を表す。また、「 $P_{sref}$ 」は、目標とする出力レベル（目標光パワー）を表す。なお、「 $P_{sref}$ 」は、予め決められた固定値である。さらに、マトリクス  $A$  ( $A_{11} \sim A_{33}$ ) の各要素は、シミュレーション等により予め算出された利得係数である。そして、「 $\Delta P_{p1}$ 」～「 $\Delta P_{p3}$ 」は、励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  の変動量を表す。

【0032】

DSP 42 は、この関係式を用いて励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  についてフィードバック制御を行う。そして、「 $P_{r1}$ 」～「 $P_{r3}$ 」がそれぞれ「 $P_{sref}$ 」に対して所定の誤差範囲内に収まったときに、制御ループが収束したものとみなされる。

【0033】

DSP 42 は、上述の関係式に従って変動量「 $\Delta P_{p1}$ 」～「 $\Delta P_{p3}$ 」を求めると、その変動量を用いて励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  の光パワーを設定する設定値を算出する。すなわち、下記の演算を行う。なお、「 $P_{p1}(n)$ 」～「 $P_{p3}(n)$ 」は、前回の設定値であり、「 $P_{p1}(n+1)$ 」～「 $P_{p3}(n+1)$ 」は、新たな設定値である。

$$P_{p1}(n+1) = P_{p1}(n) + \Delta P_{p1}$$

$$P_{p2}(n+1) = P_{p2}(n) + \Delta P_{p2}$$

$$P_{p3}(n+1) = P_{p3}(n) + \Delta P_{p3}$$

D/A変換器43は、DSP42により算出された設定値（励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ の光パワーを指示する設定値）をそれぞれアナログ値に変換し、対応する増幅器44-1～44-3に与える。増幅器44-1～44-3は、それぞれ、DSP42から与えられたアナログ値を増幅する。そして、パワートランジスタ45-1～45-3は、それぞれ、増幅器44-1～44-3の出力に対応する電流を生成する。

#### 【0034】

励起光源2は、増幅器44-1～44-3が生成する電流により駆動される。すなわち、励起光 $f_{p1}$ を生成するためのレーザダイオードは、増幅器44-1が生成する電流により駆動される。同様に、励起光 $f_{p2}$ 、 $f_{p3}$ を生成するためのレーザダイオードは、それぞれ、増幅器44-2、44-3が生成する電流により駆動される。

#### 【0035】

このように、制御回路33は、参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ を利用して励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ の光パワーを制御する。このとき、各励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ の光パワーは、例えば、参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ の光パワーが等化されるように調整される。したがって、実施形態の光伝送システムでは、信号光 $f_{s1} \sim f_{sn}$ の配置にかかわらず、常に、適切なラマン増幅が行われる。

#### 【0036】

なお、ラマン増幅を利用する光伝送システムにおいて広い信号帯域を効率的に得るためには、一般に、複数の励起光 $p1 \sim f_{p3}$ が、適切な周波数間隔または波長間隔で配置される。このため、これらの励起光 $p1 \sim f_{p3}$ に起因するラマン利得がピークとなる波長に複数の参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ を配置すると、図6に示すように、それらの参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ は、結果的に、WDM光の信号帯域のほぼ全域に渡って適切な周波数間隔または波長間隔で配置されることになる。そして、実施形態の光伝送システムでは、これらの参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ を利用してラマン増幅が制御される。したがって、WDM光に含まれる信号光の数が少ない場合（図6では、4つの信号光 $f_{s1} \sim f_{s4}$ のみが使用されている）、あるいは、WDM光に含まれる信号光の配置が偏っている場合（図6では、信号帯域の中の短い波長領域にの

み信号光が配置されている)であっても、好適なラマン増幅が得られる。すなわち、全信号帯域に渡って、利得を等化することができる。

#### 【0037】

また、実施形態のシステムでは、励起光 $p1 \sim p3$ に起因するラマン利得がピークとなる波長に参照光 $f r1 \sim f r3$ が配置されているので、励起光 $p1 \sim p3$ を調整することによって比較的容易に所望の利得チルトを得ることができる。

#### 【0038】

さらに、上述の実施例では、参照光 $f r1 \sim f r3$ を利用してWDM光の信号帯域の利得を等化する制御を行っているが、この参照光は、WDM光の全出力パワーを制御するために用いられてもよい。この場合、制御回路33は、例えば、図7に示すように、等化制御部51およびALC (Automatic Level Control) 部52を備える。ここで、等化制御部51は、上述のようにして励起光源2が生成する励起光 $f p1 \sim f p3$ を制御する。一方、ALC部52は、光スペクトラムアナライザ32により検出された参照光 $f r1 \sim f r3$ の各光パワーの平均値を算出する。

#### 【0039】

そして、ALC部52は、例えば、その平均値に基づいて等価制御部51の計算結果を補正するようにしてもよい。この場合、制御回路33は、参照光 $f r1 \sim f r3$ の各光パワーだけでなく、それらの平均値にも基づいて励起光 $p1 \sim p3$ を制御することになる。この結果、ラマン増幅の利得が等化されると同時に、WDM光の出力パワーが所望のレベルに保持されるようになる。

#### 【0040】

なお、ALC制御部52は、例えば、参照光 $f r1 \sim f r3$ の各光パワーの平均値が、予め決められている1チャンネル当たりの目標出力パワーに一致するように、光減衰器(ATT)53における減衰量を制御するようにしてもよい。

#### 【0041】

このように、WDM光から参照光 $f r1 \sim f r3$ のみを抽出し、それらの参照光を利用してWDM光の全出力パワー(または、WDM光に含まれている各信号光の光パワー)を推定する方式によれば、WDM光に含まれている信号光の数が少ない場合であっても、WDM光の光パワーを精度よくモニタできる。

**【0042】**

すなわち、従来のシステムのように、1つのフォトダイオードを用いてWDM光の光パワーを検出しようとする、信号光の光パワーだけでなく、ASE等の雑音に起因する光パワーも全帯域に渡って検出してしまふ。例えば、図8(a)に示す例では、信号光が1つだけ存在する場合であっても、斜線領域すべての光パワーを検出してしまふので、信号光の光パワーを正しく検出することができない。

**【0043】**

一方、実施形態の方式では、各参照光を含む狭い帯域の光パワーが検出されるので、雑音の影響を受けにくい。すなわち、実施形態の方式では、図8(b)に示す斜線領域の光パワーのみが検出されるので、参照光の光パワーを正確に検出でき、これによってWDM光（または、WDM光に含まれる各信号光）の光パワーを正確に検出できる。

**【0044】**

図9は、他の実施形態の光伝送システムの中継局の構成図である。ここで、この中継局は、信号帯域を増幅するためのエルビウム添加ファイバ光増幅器(EDFA)61を備えている。すなわち、このシステムでは、ラマン増幅器およびエルビウム添加ファイバ光増幅器が混在する。そして、ラマン増幅器およびエルビウム添加ファイバ光増幅器61の関係は、図10に示すようになっているものとする。

**【0045】**

エルビウム添加ファイバ光増幅器61およびラマン増幅器は、図10に示すように、信号帯域を増幅するように設計される。ここで、ラマン増幅器による利得は、励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ により得られている。そして、信号帯域全体に渡ってフラットなラマン利得を得ようとする、しばしば、複数の励起光の中の一部の励起光に起因するラマン利得がピークとなる周波数が信号帯域の外に位置することがある。図10に示す例では、励起光 $f_{p1}$ に起因するラマン利得がピークとなる周波数が信号帯域の外に位置している。

**【0046】**



ところが、実施形態の光伝送システムでは、各励起光  $f_{p1} \sim f_{p3}$  に起因するラマン利得がピークとなる周波数にそれぞれ参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  が設定される。すなわち、図 10 に示す例においては、参照光  $f_{r1}$  は、信号帯域の外に位置することになり、エルビウム添加ファイバ光増幅器 61 によっては増幅されない、あるいは増幅量が不十分となることになる。したがって、このままでは、参照光  $f_{r1}$  は、他の参照光  $f_{r2}$ 、 $f_{r3}$  と比較して光パワーが弱くなってしまう

このため、この実施形態のシステムでは、各中継局（または、全中継局の中のいくつかの中継局）に、参照光  $f_{r1}$  と同じ周波数の補助光を生成するための補助光源（LD）62、およびその補助光源 62 により生成される補助光を WDM 光に合波する WDM カプラ 63 が設けられている。そして、このようにして参照光  $f_{r1}$  と同じ周波数の補助光が供給されることにより、エルビウム添加ファイバ光増幅器 61 によって増幅されない参照光  $f_{r1}$  の光パワーが、他の参照光  $f_{r2}$ 、 $f_{r3}$  と同じレベルになるように調整される。

#### 【0047】

また、さらに光スペクトラムアナライザ 32 と光分岐カプラ 31 との間に WDM カプラ 71 を設置し、これにより信号帯域外の参照光  $f_{p1}$  のパワーの一部を選択してフォトダイオード 72 に導き、監視信号中継器 73 によって中継増幅される際に補助光源 62 で監視信号データを載せて WDM カプラ 63 を通して合波することで信号帯域外参照光に監視信号光を載せることも可能である。

#### 【0048】

なお、図 1 または図 9 に示す例では、各参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワーを検出するための回路（検出手段）として、光スペクトラムアナライザ 32 が用いられているが、本発明はこれに限定されるものではない。

#### 【0049】

図 11 は、参照光の光パワーを検出するための回路の実施例である。ここで、この検出回路 70 は、図 1 または図 9 に示した光スペクトラムアナライザ 32 の代わりの設けられる。すなわち、検出回路 70 は、分岐カプラ 31 により分岐された WDM 光が与えられ、その WDM 光に含まれている参照光  $f_{r1} \sim f_{r3}$  の光パワーを検出して制御回路 33 に通知する。

**【0050】**

検出回路70は、参照光f<sub>r1</sub>～f<sub>r3</sub>を選択的に反射する反射素子71-1～71-3を備える。ここで、反射素子71-1～71-3は、それぞれ、例えば、ファイバブラッググレーティングにより実現される。そして、反射素子71-1は、参照光f<sub>r1</sub>が設定されている周波数の光のみを反射する。同様に、反射素子71-2、71-3は、それぞれ、参照光f<sub>r2</sub>、f<sub>r3</sub>が設定されている周波数の光のみを反射する。なお、検出回路70は、無反射終端部74により終端されている。

**【0051】**

反射素子71-1により反射された光（すなわち、参照光f<sub>r1</sub>）は、光デバイス72-1によりフォトダイオード73-1に導かれる。ここで、この光デバイス72-1は、例えば、光分岐カプラまたは光サーキュレータ等により実現することができる。そして、フォトダイオード73-1によって参照光f<sub>r1</sub>の光パワーが検出される。同様に、反射素子71-2、71-3によって反射された参照光f<sub>r2</sub>、f<sub>r3</sub>は、光デバイス72-2、72-3によってフォトダイオード73-2、73-3に導かれる。そして、フォトダイオード73-2、73-3により参照光f<sub>r2</sub>、f<sub>r3</sub>の光パワーが検出される。

**【0052】**

このように、図11に示す検出回路は、シンプルな光部品を組み合わせることで実現されるので、光スペクトラムアナライザ32を利用する構成と比較して低コスト化が図れる。

**【0053】**

図12は、図11に示す検出回路の変形例である。この検出回路は、予め決められた波長のみを選択的に通過させる波長分離フィルタ75を備える。この例では、波長分離フィルタ75は、参照光f<sub>r1</sub>～f<sub>r3</sub>のみを通過させる。そして、これらの参照光f<sub>r1</sub>～f<sub>r3</sub>は、それぞれ、対応するフォトダイオード73-1～73-3に導かれる。

**【0054】**

なお、図1～図12に示した実施例では、3波の励起光f<sub>p1</sub>～f<sub>p3</sub>によってラ

マン増幅を実現しているが、本発明はこれに限定されるものではなく、互いに波長の異なる複数の励起光を利用するシステムであれば適用可能である。

#### 【0055】

(付記1) ラマン増幅器を利用して送信局から受信局へWDM光を伝送する光伝送システムであって、

上記ラマン増幅器は、

光増幅媒体と、

互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源と、

上記複数の励起光を上記光増幅媒体に導く光デバイスと、

上記励起光源を制御する制御手段を備え、

上記送信局は、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長を持った複数の参照光を送出し、

上記制御手段は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する

ことを特徴とする光伝送システム。

#### 【0056】

(付記2) ラマン増幅器を利用して送信局から受信局へWDM光を伝送する光伝送システムであって、

上記ラマン増幅器は、

光増幅媒体と、

互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源と、

上記複数の励起光を上記光増幅媒体に導く光デバイスと、

上記励起光源を制御する制御手段を備え、

上記送信局は、上記複数の励起光に対してそれぞれラマンシフト周波数だけシフトした周波数またはその近傍の周波数で対応する複数の参照光を送出し、

上記制御手段は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する

ことを特徴とする光伝送システム。

#### 【0057】

(付記 3) 付記 1 または 2 に記載の光伝送システムであって、  
上記送信局は、上記複数の参照光の中の少なくとも一部を利用して上記受信局  
へ情報を送信する。

**【 0 0 5 8 】**

(付記 4) 付記 1 に記載の光伝送システムであって、  
上記 WDM 光が予め決められた周波数間隔が定義されている周波数グリッド上  
に配置される場合に、上記複数の参照光は、それぞれ、上記励起光に基づいて決  
められる波長に対応する周波数に最も近接するグリッド上に配置される。

**【 0 0 5 9 】**

(付記 5) 付記 2 に記載の光伝送システムであって、  
上記 WDM 光が予め決められた周波数間隔が定義されている周波数グリッド上  
に配置される場合に、上記複数の参照光は、それぞれ、上記励起光に基づいて決  
められる周波数に最も近接するグリッド上に配置される。

**【 0 0 6 0 】**

(付記 6) 付記 1 または 2 に記載の光伝送システムであって、  
上記 WDM 光に含まれている上記複数の参照光の光パワーを検出する検出手段  
をさらに有し、  
上記制御手段は、上記検出手段により検出される複数の参照光の光パワーが等  
化されるように上記複数の励起光の光パワーを制御する。

**【 0 0 6 1 】**

(付記 7) 付記 6 に記載の光伝送システムであって、  
上記検出手段は、光スペクトラムアナライザである。

(付記 8) 付記 6 に記載の光伝送システムであって、  
上記検出手段は、

上記複数の参照光を選択的に反射する反射手段と、  
上記反射手段により反射された参照光を電気信号に変換する受光手段、  
を備える。

**【 0 0 6 2 】**

(付記 9) 付記 1 または 2 に記載の光伝送システムであって、

上記制御手段は、上記複数の参照光の各光パワーの平均値に基づいて上記複数の励起光を制御する。

#### 【 0 0 6 3 】

(付記 1 0) 付記 1 または 2 に記載の光伝送システムであって、  
上記制御手段は、上記複数の参照光の各光パワーの平均値に基づいて上記 WDM 光の出力パワーを制御する。

#### 【 0 0 6 4 】

(付記 1 1) ラマン増幅を利用して送信局から中継局を介して受信局へ WDM 光を伝送する光伝送システムであって、

上記中継局は、

互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源と、

上記複数の励起光を光増幅媒体に導く光デバイスと、

上記励起光源を制御する制御手段、を備え、

上記送信局は、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長を持った複数の参照光を生成する参照光生成手段を有し、

上記中継局は、さらに、

上記 WDM 光を増幅する集中型光増幅器と、

上記複数の参照光の中で上記集中型光増幅器の利得帯域の外に位置する参照光と同じ波長の補助光を上記 WDM 光に合波する補助光供給手段、を備え

上記制御手段は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する

ことを特徴とする光伝送システム。

#### 【 0 0 6 5 】

(付記 1 2) ラマン増幅を利用して送信局から中継局を介して受信局へ WDM 光を伝送する光伝送システムであって、

上記中継局は、

互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源と、

上記複数の励起光を光増幅媒体に導く光デバイスと、

上記励起光源を制御する制御手段、を備え、

上記送信局は、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長を持った複数の参照光を生成する参照光生成手段を有し、

上記制御手段は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する

ことを特徴とする光伝送システム。

#### 【 0 0 6 6 】

(付記 1 3) 送信局から受信局へ複数の信号光および複数の参照光を含む WDM 光を伝送する光伝送システムにおいて上記 WDM 光を増幅するラマン増幅器であって、

光増幅媒体と、

互いに波長の異なる複数の励起光を生成する励起光源と、

上記複数の励起光を上記光増幅媒体に導く光デバイスと、

上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する制御手段を備え、

上記複数の参照光が、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長に配置されることを特徴とするラマン増幅器。

#### 【 0 0 6 7 】

(付記 1 4) 互いに波長の異なる複数の励起光を用いるラマン増幅器を利用して送信局から受信局へ WDM 光を伝送する光伝送方法であって、

上記送信局は、上記複数の励起光により得られる各ラマン利得がそれぞれピークとなる波長またはその近傍の波長を持った複数の参照光を上記 WDM 光の一部として送出し、

上記ラマン増幅器は、上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御する

ことを特徴とする光伝送方法。

#### 【 0 0 6 8 】

(付記 1 5) 付記 1 1 に記載の光伝送システムであって、  
上記中継局は、

上記複数の参照光のうち上記集中型光増幅器の利得帯域の外に位置する帯域外参照光に監視情報を載せ、中継局でこの参照光を電気信号に変換し、さらに光信号に変換して上記 WDM 光に合波する補助光供給手段、を備え、

上記制御手段は、上記帯域外参照光を含む上記複数の参照光の光パワーに基づいて上記複数の励起光を制御し、さらに、上記帯域外参照光を用いて中継局を遠隔制御して状態を監視する情報を中継伝送する

ことを特徴とする光伝送システム。

#### 【 0 0 6 9 】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、ラマン増幅を利用する光伝送システムにおいて、WDM 光の中に含まれる信号光の数や配置が変化した場合であっても、常に、利得の波長特性を精度よく制御できる。また、WDM 光の中に含まれる信号光の数が少ない場合であっても、A S E 等の雑音累積の影響を抑えながら WDM 光の出力パワーを正確にモニタできる。さらに、ラマン増幅器の動作の管理が簡単になる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の実施形態の光伝送システムの構成図である。

##### 【図 2】

参照光の配置方法について説明する図である。

##### 【図 3】

送信局の構成図である。

##### 【図 4】

参照光を利用してデータを伝送する場合の送信回路の例である。

##### 【図 5】

各中継局が備える制御回路の構成図である。

##### 【図 6】

実施形態の光伝送システムの効果を説明する図である。

**【図 7】**

WDM光の光パワーに基づいて動作する中継局の実施例である。

**【図 8】**

(a) は従来技術における光検出、(b) は実施形態の光検出について説明する図である。

**【図 9】**

他の実施形態の光伝送システムの中継局の構成図である。

**【図 1 0】**

ラマン増幅器とエルビウム添加ファイバ光増幅器との関係を説明するための図である。

**【図 1 1】**

参照光の光パワーを検出するための装置の実施例である。

**【図 1 2】**

図 1 1 に示す検出回路の変形例である。

**【図 1 3】**

一般的なラマン増幅器を用いた光伝送システムの構成図である。

**【符号の説明】**

- 1 伝送路光ファイバ (光増幅媒体)
- 2 励起光源
- 3 WDMカプラ
- 1 0 送信局
- 2 0 受信局
- 3 0 中継局
- 3 2 光スペクトラムアナライザ
- 3 3 制御回路
- 4 2 D S P
- 6 1 エルビウム添加ファイバ光増幅器 (E D A)
- 6 2 補助光源
- 7 0 検出回路



7 1 - 1 ~ 7 1 - 3 反射素子

7 3 - 1 ~ 7 3 - 3 フォトダイオード

7 5 波長分離フィルタ

【書類名】

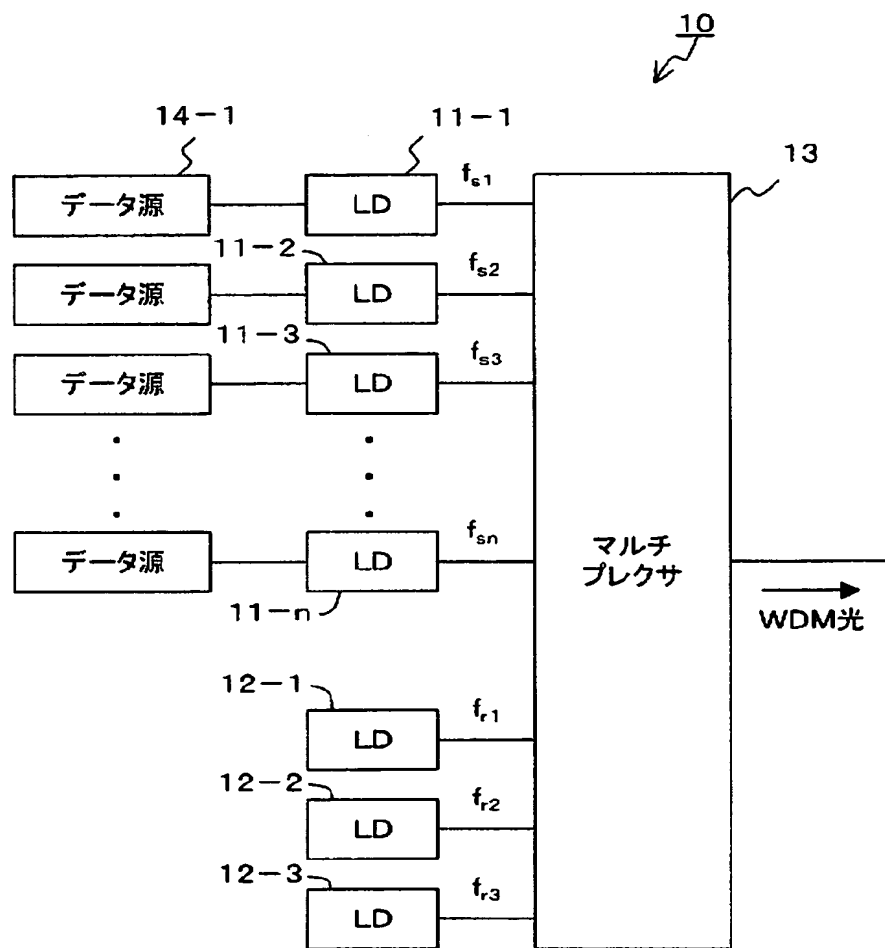
図面





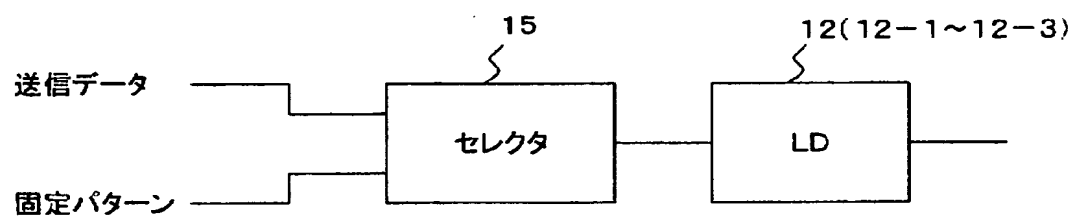
【図 3】

## 送信局の構成図



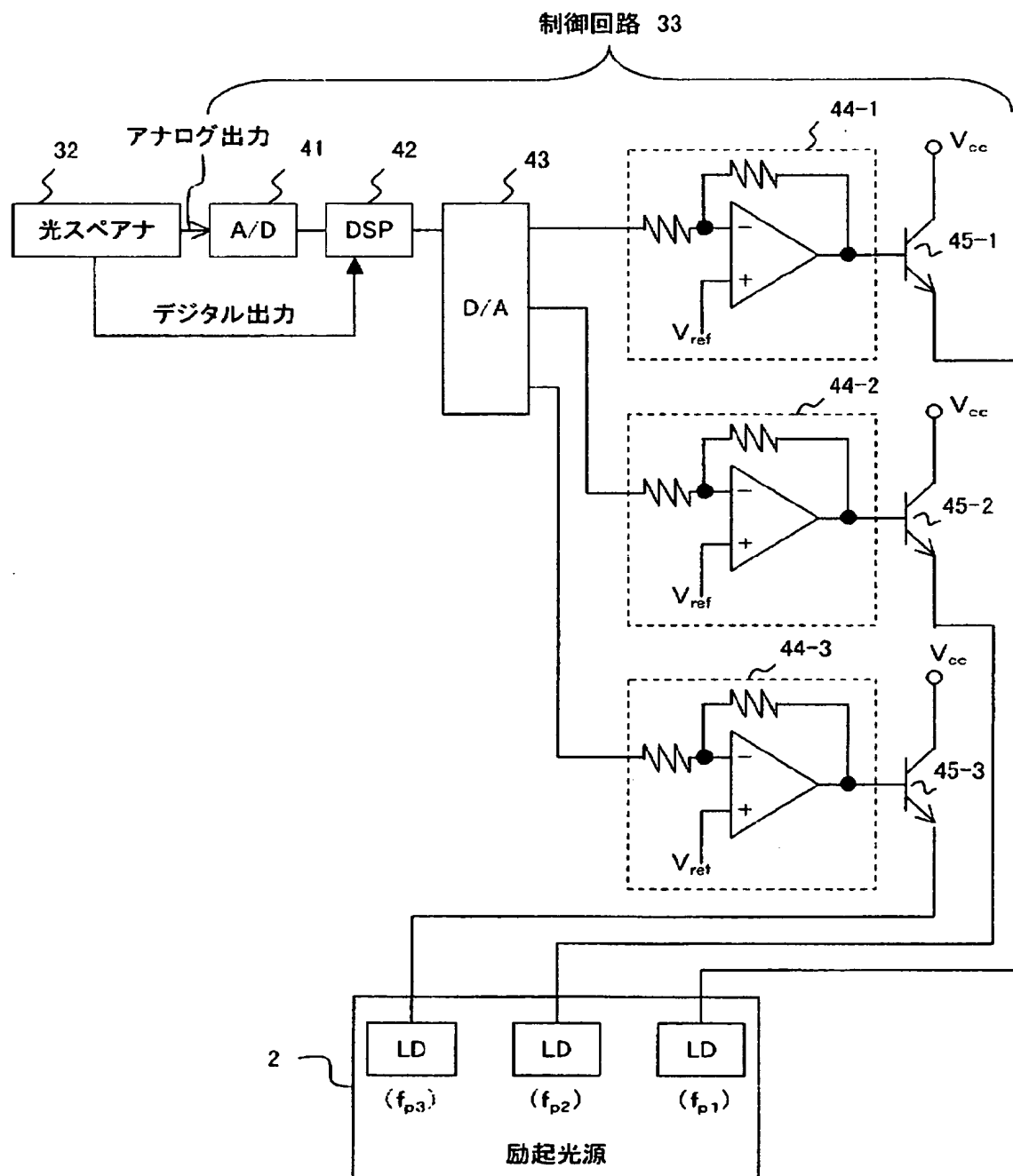
【図 4】

参照光を利用して  
データを伝送する場合の送信回路の例



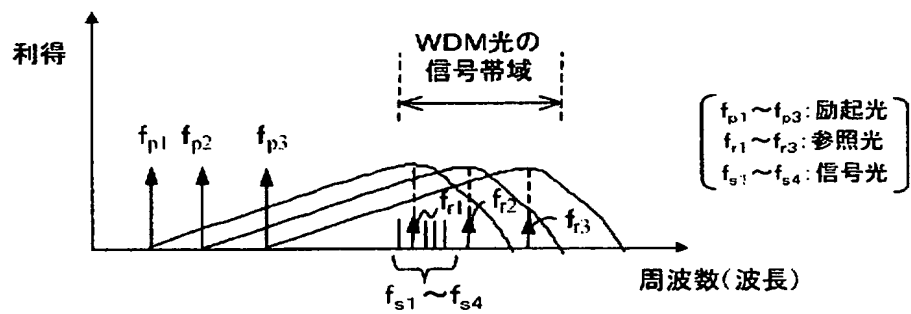
【図 5】

## 各中継局が備える制御回路の構成図



【図 6】

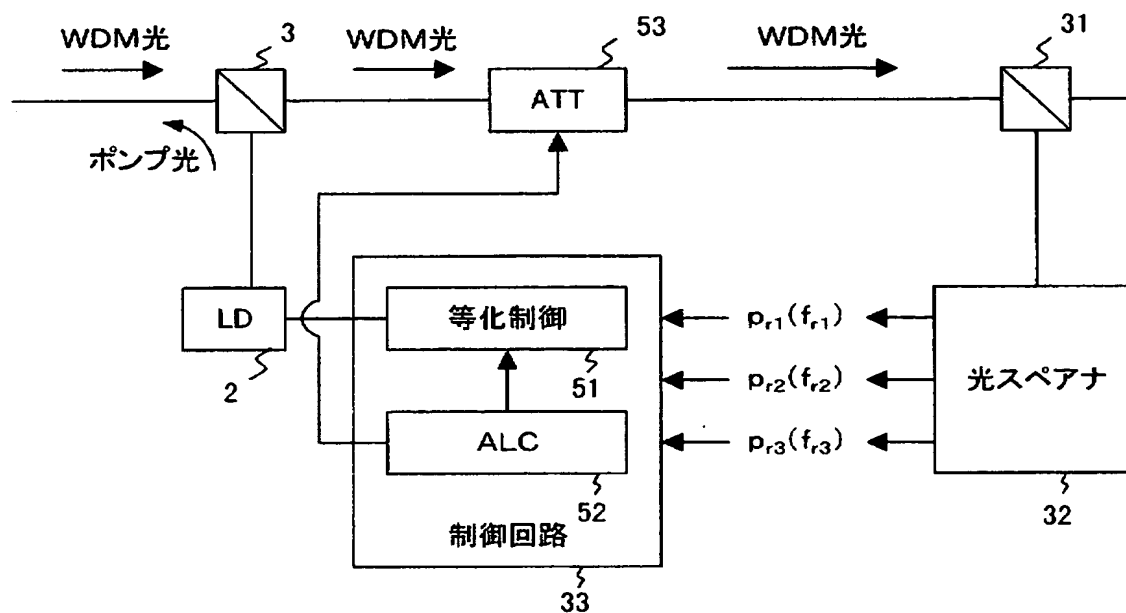
実施形態の光伝送システムの効果を説明する図





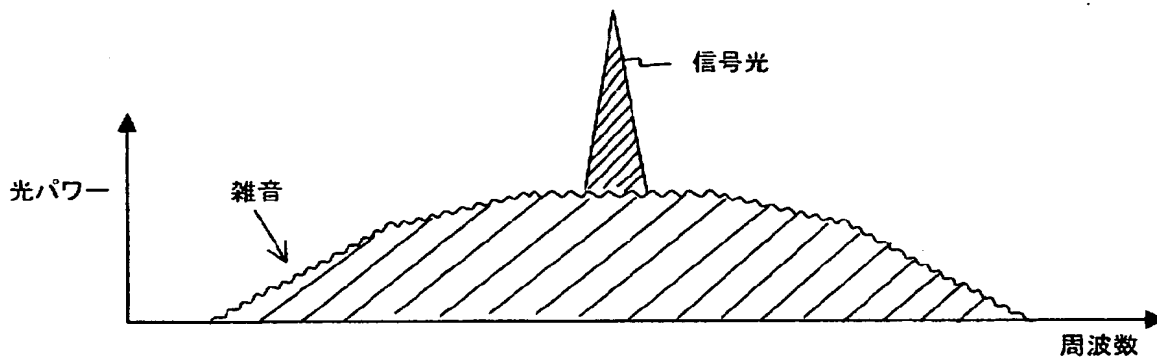
【図 7】

## WDM光の光パワーに基づいて動作する中継局の実施例

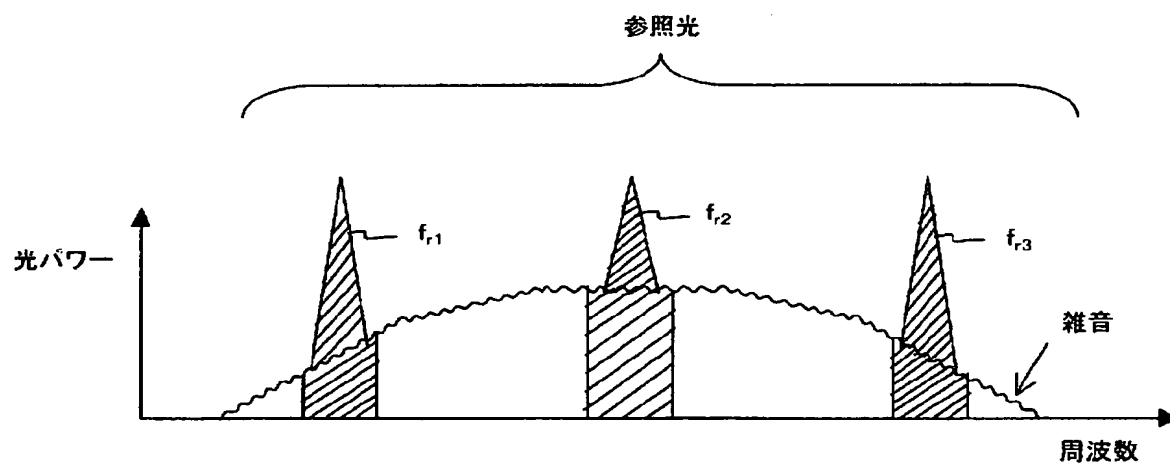


【図 8】

(a)は従来技術における光検出、  
(b)は実施形態の光検出について説明する図



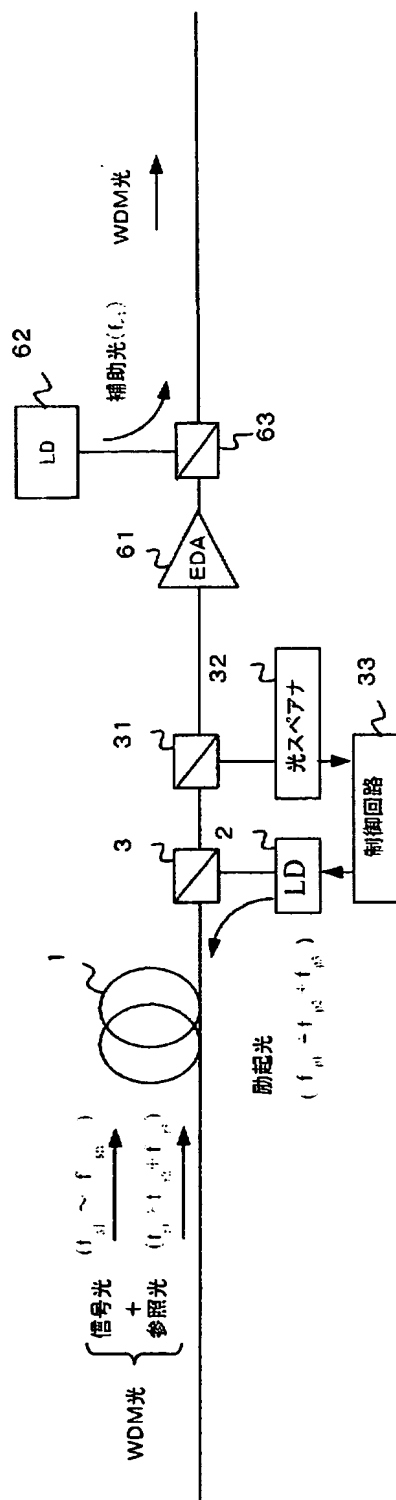
(a)



(b)

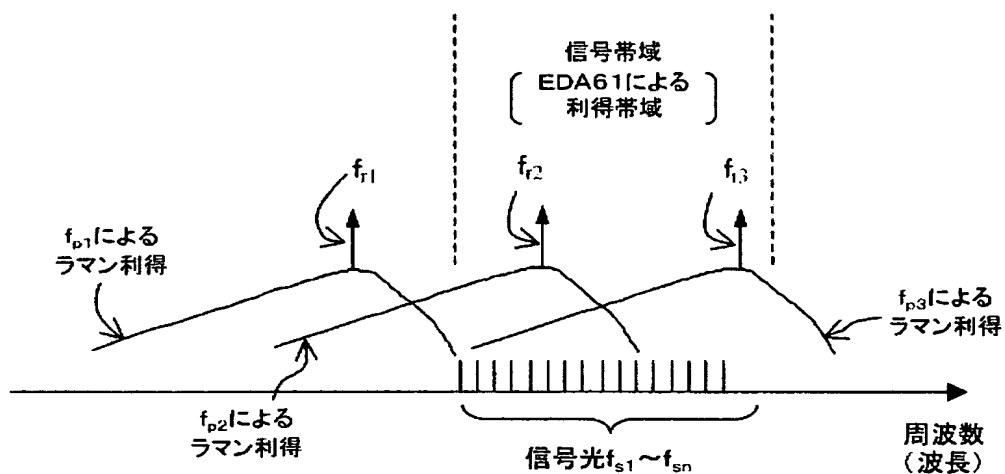
【図 9】

他の実施形態の光伝送システムの中継局の構成図



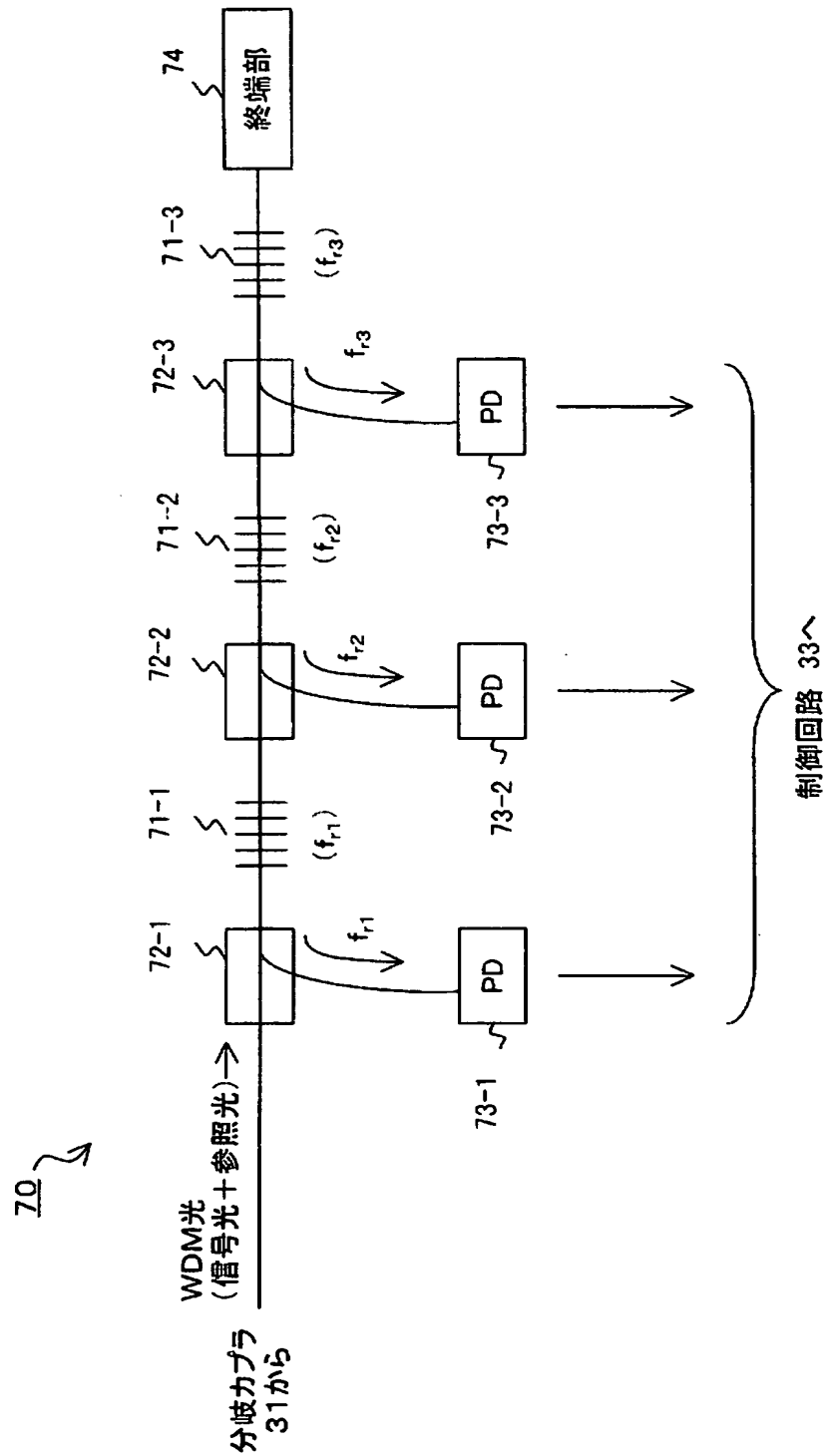
【図 10】

ラマン増幅器とエルビウム添加ファイバ  
光増幅器との関係を説明するための図



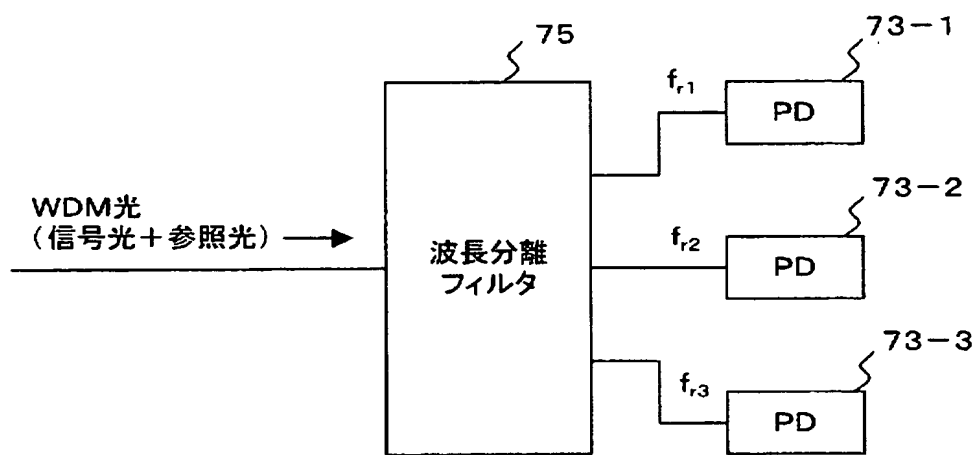
【図 11】

参照光の光パワーを検出するための装置の実施例

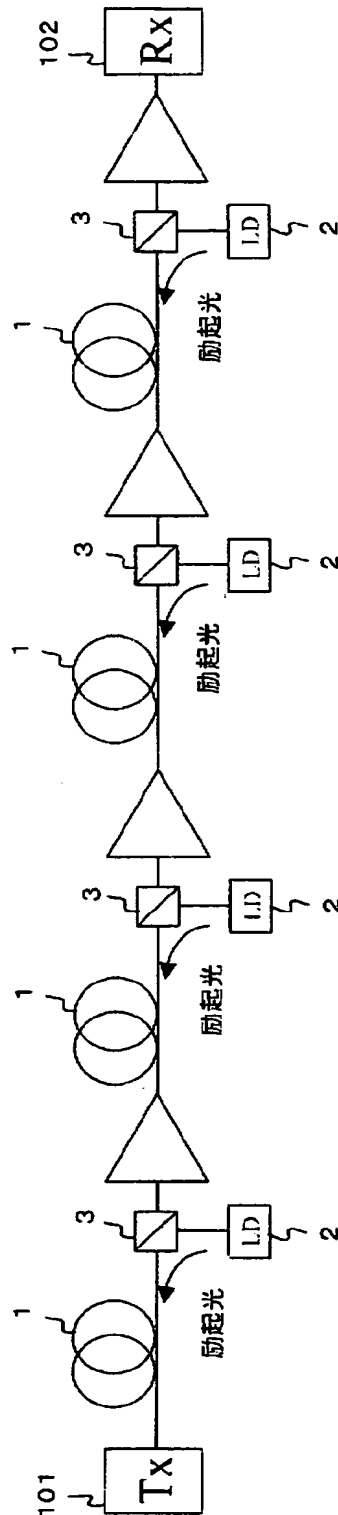


【図 12】

図 11 に示す検出回路の変形例



【図 13】

一般的なラマン増幅器を用いた  
光伝送システムの構成図

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ラマン増幅器を用いた光伝送システムにおいて、WDM光の光パワーバランスおよびWDM光全体の光パワーを正確に管理できるようにする。

【解決手段】 送信局10から受信局20へWDM光が伝送される光伝送システムは、複数の中継局30を備える。WDM光は、信号光 $f_{s1} \sim f_{sn}$ および参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ を含む。励起光源2により生成される励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ は、伝送路光ファイバ1に供給される。制御回路33は、各参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ の光パワーに基づいて励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ を制御する。励起光 $f_{p1} \sim f_{p3}$ に起因するラマン増幅の利得がピークとなる周波数に参照光 $f_{r1} \sim f_{r3}$ が配置される。

【選択図】 図1



特願 2 0 0 3 - 0 9 2 8 7 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社